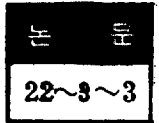


高調波磁束을 고려한 純單相誘導電動機의 解析

Analysis of Single-Phase Induction Motor Having Space Harmonics in its Magnetic Field



오 공 렬*
(Keung Yul Oh)

Abstract

In this paper, the characteristics of a single phase induction motor which is considered the space harmonic flux by the double revolving field theory is analysed.

As the rotor resistance for the fundamental flux is separated from the resistance for the rotor bar and end-ring, and the rotor leakage reactance is separated from the skew leakage reactance and the other, so the circuit constants for the space harmonic flux is expressed by the circuit constants for the fundamentals.

As the ratio of the circuit constants for the magnetizing reactance is used, the generalized equivalent circuit is made up. The characteristic equation which is able to analysis the subdivided characteristics by the above circuit is induced.

The ratio of the circuit constants and the skew angle being changed, the variations of the torque-speed characteristics for the fundamentals and harmonics is examined by this equation.

1. 序 論

家庭 電氣機器, 事務機器 等の 驅動用電動機로서 始動特性이 良好한 condenser始動 單相誘導電動機가 널리 使用되고 있는데 그 電動機에서는 定常運轉에의 特性, 始動卷線 開放에의 特性, 始動特性이 重要特性이 된다.

이들 特性을 解析하는데는 主卷線 自體의 各種 特性 即 純單相誘導電動機의 特性이 重要한 問題가 될 것이다. Kibe, Mito와 Kamimura¹⁾는 純單相誘導電動機의 特性을 解析하고 Yokozuka²⁾는 condenser始動 單相誘導電動機의 特性을 解析하고 있지만 이들은 空間磁束이 正弦波 分布라는 假定下에서 解析하고 있다. 純單相誘導電動機(以下 電動機라 한다)의 固定子卷線은 同心卷이고 卷線의 中心部에 起動卷線을 위한 slot가 配置되

므로 空間磁束分布가 3相誘導電動機보다 더욱 심한 階段形波로 된다. 따라서 空間 高調波磁束을 考慮하여 解析하여야만 더 正確한 解析이 얻어질 것이다. Buchanan³⁾은 空間 高調波磁束을 考慮하여 토오크의 理論式을 誘導하고⁴⁾ 있지만 그 式으로서는 特性의 解析이 곤란하고 또 特性에 對한 解析은 하고 있지 않다.

著者は 2 電動機說⁴⁾에 依하여 空間 高調波磁束을 考慮한 電動機의 特性을 解析했으며 基本波에 對한 回轉子 抵抗을 回轉子導體에 關한 抵抗과 端絡環에 關한 抵抗으로 分離하고 基本波에 對한 回轉子 漏洩리액턴스도 斜溝漏洩리액턴스와 斜溝漏洩리액턴스 以外の 漏洩리액턴스로 分離하여 基本波에 對한 各 回路定數로서 高調波에 對한 回路定數를 表함으로서 基本波의 回路定數와 高調波에 對한 回路定數와의 相互 關係를 명백히 하였다. 그리하여 勵磁리액턴스에 對한 定數比를 使用하여 많은 機種에 適用할 수 있는 等價回路를 作成하였고 이 回路에 따라 細分된 特性解析을 할 수 있는

* 정회원 : 성균관대학교 이공대학 교수

各特性式을 誘導하였다. 이 結果를 供試機에 適用하여 計算한 바 計算値와 實測値가 比較的 一致함을 確認하였으므로 그 計算式을 使用하여 細分된 回路定數比 및 斜溝角을 變化시켰을때 基本波 및 高調波에 對한 토오크-速度特性이 어떻게 變化하는가를 檢討하여 高調波 磁束을 考慮했을때 定數比 및 斜溝角과 토오크-速度特性과의 關係를 明白히 하였다.

2. 等價回路

電動機의 回轉子卷線 即 一次卷線이 同心卷이므로 空間磁束은 階段形 波로 分布되고 그 中心은 卷線의 中心과 一致한다. 이것을 Fourier級數로 分析하면 基本波 外에 奇數 高調波를 包含하게 된다. 이 空間高調波를 考慮한 電動機의 解析은 基本波에 對한 解析方式을 延長하면 되므로 任意 슬립에 對한 等價回路는 鐵損分

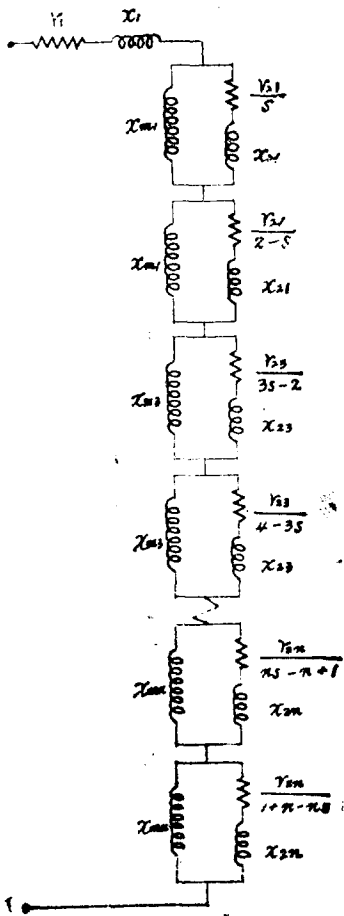


그림 1. 等價回路
Fig. 1. Equivalent circuit.

에 해당하는 것을 無視하고 2電動機說에 따라 解析하여 r_1, x_1 을 各各 一次의 抵抗 및 漏洩리액턴스(高調波 漏洩리액턴스와 斜溝리액턴스를 包含한 一次의 全 漏洩리액턴스이다), x_m 을 基本波 磁束에 對한 一次의 勵磁리액턴스의 半, r_{21}, x_{21} 을 各各 基本波에 對한 二次 1相의 抵抗 및 漏洩리액턴스의 一次 換算値, x_{mn} 을 第 n 次 高調波($n=3, 5, 7, \dots$) 磁束에 對한 一次의 勵磁리액턴스의 半, r_{2n}, x_{2n} 을 各各 第 n 次 高調波에 對한 二次 1相의 抵抗 및 漏洩리액턴스의 一次換算値라고 하면 그림 1과 같이 表한 수 있다.

지금 r_{21} 을 二次導體에 關한 抵抗 r_{2k1} 과 端絡環에 關한 抵抗 r_{2e1} 으로 分離, 즉

$$r_{21} = r_{2k1} + r_{2e1} \tag{1}$$

라 하고 x_{21} 을 二次 斜溝리액턴스 x_{sk1} 과 x_{ek1} 以外的 漏洩리액턴스 x_{221} 으로 分離, 即

$$x_{21} = x_{221} + x_{sk1} \tag{2}$$

라 하면 Buchanan³⁾의 各關係式에 따라 x_{mn}, r_{2n}, x_{2n} 을 各各 다음과 같이 表한 수 있다.

$$x_{mn} = \left(\frac{K_{wn}}{K_{w1}}\right)^2 \frac{C_{skn}}{C_{sk1}} x_{m1} \tag{3}$$

$$r_{2n} = n^2 \left(\frac{K_{wn}}{K_{w1}}\right)^2 r_{2k1} + \left(\frac{K_{wn}}{K_{w1}}\right)^2 r_{2e1} \tag{4}$$

$$x_{2n} = n^2 \left(\frac{K_{wn}}{K_{w1}}\right)^2 x_{221} + n^2 \left(\frac{K_{wn}}{K_{w1}}\right)^2 \frac{C_{skn}}{C_{sk1}} x_{sk1} \tag{5}$$

여기서 K_{w1}, C_{sk1} 은 各各 基本波에 對한 卷線係數 및 斜溝係數, K_{wn}, C_{skn} 은 各各 第 n 次 高調波에 對한 卷線係數 및 斜溝係數이고

$$\frac{K_{wn}}{K_{w1}} = \frac{C_1 \sin n B_1 + C_2 \sin n B_2 + \dots + C_n \sin n B_n}{n(C_1 \sin B_1 + C_2 \sin B_2 + \dots + C_n \sin B_n)} \tag{6}$$

$$\frac{C_{skn}}{C_{sk1}} = \frac{\sin \frac{n \theta_{sk}}{2}}{n \sin \frac{\theta_{sk}}{2}} \tag{7}$$

이다. 여기서 C_1 은 卷線의 中心부터 最外側에 있는 코일의 導體數, C_2 는 C_1 다음에 內側에 있는 코일의 導體數, C_n 는 最內側에 있는 코일의 導體數이고, B_1, B_2, \dots, B_n 는 各 코일 C_1, C_2, \dots, C_n 의 位置를 電氣角으로서 表한 것이다. 그리고 θ_{sk} 는 radian으로 表한 斜溝角이며 文獻 5)에 따라 x_{sk1} 은 $\alpha x_{m1} \theta_{sk}^2$ ($\alpha=0.03958$)라 表할 수 있다. 그림 1의 各定數를 $1/x_{m1}$ 倍하면 그 等價回路는 式(3), (4), (5)에 따라 그림 2와 같이 된다. 그림 1과 그림 2에 있어서 電流分布는 變化없고 그 크기만 그림 1은 그림 2의 $1/x_{m1}$ 倍로 된다. 또 그림 1의 各部分에 消費되는 電力도 그림 2의 $1/x_{m1}$ 倍로 된다. 이와같이 定數比로 表하면 定數比가 같은 電動機에 있어서는 小形이던 大形이던 共通性이 있게 되어 一般性을 가져게 된다. 따라서 그림 2는 一般化한 電動機의 等價回路라고 볼 수 있으며 各 高調波에 對한 回路定

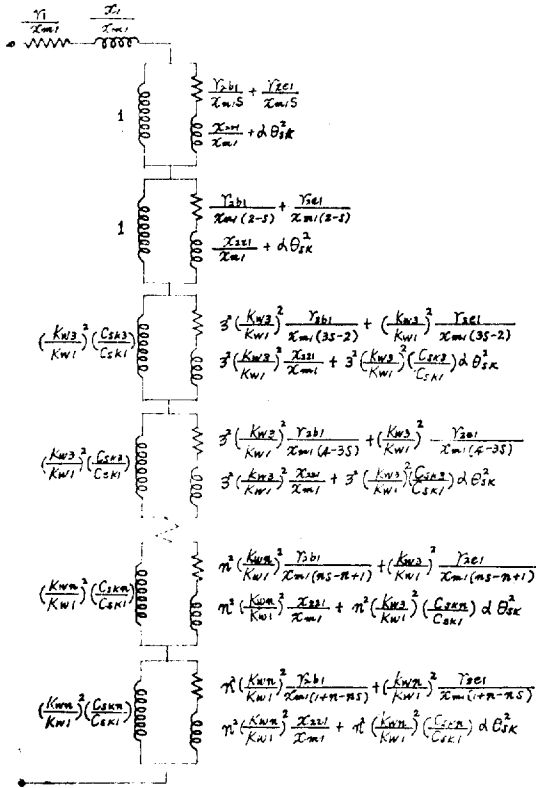


그림 2. 一般化한 等價回路
Fig.2. Generalized equivalent circuit.

數比를 基本波에 對한 回路定數比로써 表示한 것이다.

3. 特性式

그림 2의 基本波에 對한 二次의 正相 및 逆相임피던스를 各各 Z_{P1} , Z_{N1} 라고 하면

$$Z_{P1} = \frac{1}{j + \frac{1}{\frac{r_{2b1}}{x_{m1}s} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}s} + j\left(\frac{x_{221}}{x_{m1}} + \alpha\theta_{ik}^2\right)}} = Z_{PIR} + jZ_{PIJ} \quad (8)$$

$$Z_{PIR} = \frac{\frac{r_{2b1}}{x_{m1}s} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}s}}{\left(\frac{r_{2b1}}{x_{m1}s} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}s}\right)^2 + \left(\frac{x_{221}}{x_{m1}} + \alpha\theta_{ik}^2 + 1\right)^2} \quad (9)$$

$$Z_{PIJ} = \frac{\left(\frac{r_{2b1}}{x_{m1}s} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}s}\right) + \left(\frac{x_{221}}{x_{m1}} + \alpha\theta_{ik}^2 + 1\right)}{\left(\frac{r_{2b1}}{x_{m1}s} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}s}\right)^2 + \left(\frac{x_{221}}{x_{m1}} + \alpha\theta_{ik}^2 + 1\right)^2} \quad (10)$$

$$Z_{N1} = Z_{NIR} + jZ_{NIJ} \quad (11)$$

(Z_{NIR} 는 Z_{PIR} 의 s 대신 $2-s$, Z_{NIJ} 는 Z_{PIJ} 의 s 대신 $2-s$ 를 各各代入하면 된다.)

로 된다. 그리고 第 n 次 高調波에 波한 二次의 正相分임피던스 Z_{Pn} , 逆相分임피던스 Z_{Nn} 는 다음과 같이 된다.

$$Z_{Pn} = Z_{PNR} + jZ_{PNJ} \quad (12)$$

$$Z_{PNR} = \frac{\left(\frac{K_{wn}}{K_{w1}} \cdot \frac{C_{skn}}{C_{sk1}}\right)^2 \left\{ n^2 \frac{r_{2b1}}{x_{m1}(nS-n+1)} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}(nS-n+1)} \right\}}{\left\{ n^2 \frac{r_{2b1}}{x_{m1}(nS-n+1)} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}(nS-n+1)} \right\} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}(nS-n+1)}} + \left\{ n^2 \frac{x_{221}}{x_{m1}} + \frac{C_{skn}}{C_{sk1}} (1 + \alpha n^2 \theta_{ik}^2) \right\}^2} \quad (13)$$

$$Z_{PNJ} = \frac{\left(\frac{K_{wn}}{K_{w1}}\right)^2 \frac{C_{skn}}{C_{sk1}} \left[\left\{ n^2 \frac{r_{2b1}}{x_{m1}(nS-n+1)} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}(nS-n+1)} \right\} \right]}{\left\{ n^2 \frac{r_{2b1}}{x_{m1}(nS-n+1)} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}(nS-n+1)} \right\} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}(nS-n+1)}} + n^2 \left(\frac{x_{221}}{x_{m1}} + \frac{C_{skn}}{C_{sk1}} \alpha \theta_{ik}^2 \right) \left\{ n^2 \frac{x_{221}}{x_{m1}} + \frac{C_{skn}}{C_{sk1}} (\alpha n^2 \theta_{ik}^2 + 1) \right\}} + \left\{ n^2 \frac{x_{221}}{x_{m1}} + \frac{C_{skn}}{C_{sk1}} (1 + \alpha n^2 \theta_{ik}^2) \right\}^2} \quad (14)$$

$$Z_{Nn} = Z_{NnR} + jZ_{NnJ} \quad (15)$$

(Z_{NnR} 는 Z_{PNR} 의 $(nS-n+1)$ 대신 $(1+n-nS)$, Z_{NnJ} 는 Z_{PNJ} 의 $(nS-n+1)$ 대신 $(1+n-nS)$ 를 代入하면 얻어진다.)

따라서 그림 2의 電源電壓을 V_1 , 一次電流를 I_1 라 하면

$$I_1 = \frac{V_1}{\frac{r_1}{x_{m1}} + Z_{PIR} + Z_{NIR} + \sum(Z_{PNR} + Z_{NnR}) + j\left\{ \frac{x_1}{x_{m1}} + Z_{PIJ} + Z_{NIJ} + \sum(Z_{PNJ} + Z_{NnJ}) \right\}} \quad (16)$$

로 되며 그림 1의 狀態로 換算한 실제의 一次電流의 實効値는

$$I = \frac{1}{x_{m1}} I_1 \quad (17)$$

으로 되고 실제의 一次入力 W 는

$$W = \frac{1}{x_{m1}} I_1^2 \left\{ \frac{r_1}{x_{m1}} + Z_{PIR} + Z_{NIR} + \sum(Z_{PNR} + Z_{NnR}) \right\} \quad (18)$$

로 된다. 그림 2에 있어서 基本波에 對한 二次正相分電流 및 二次逆相分電流의 一次換算值 I_{2P1} , I_{2N1} 은

$$I_{2P1} = \frac{j}{\frac{r_{2b1}}{x_{m1}s} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}s} + j\left(\frac{x_{221}}{x_{m1}} + \alpha\theta_{ik}^2 + 1\right)} I_1 \quad (19)$$

$$I_{2N1} = \frac{j}{\frac{r_{2b1}}{x_{m1}(2-s)} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}(2-s)} + j\left(\frac{x_{221}}{x_{m1}} + \alpha\theta_{ik}^2 + 1\right)} I_1 \quad (20)$$

로 되고 第 n 次 高調波에 對한 二次正相分電流 및 二次逆相分電流의 一次換算值 I_{2Pn} , I_{2Nn} 는 各各 다음과 같이 된다.

$$I_{2Pn} = \frac{j \frac{C_{skn}}{C_{sk1}}}{n^2 \frac{r_{2b1}}{x_{m1}(nS-n+1)} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}(nS-n+1)}} I_1$$

$$+ j \left\{ n^2 \frac{x_{221}}{x_{m1}} + \frac{C_{shn}}{C_{sh1}} (\alpha n^2 \theta_{sh}^2 + 1) \right\} I_1 \quad (21)$$

$$I_{2Nn} = \frac{j \frac{C_{shn}}{C_{sh1}}}{n^2 \frac{r_{2b1}}{x_{m1}(1+n-nS)} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}(1+n-nS)}}$$

$$+ j \left\{ n^2 \frac{x_{221}}{x_{m1}} + \frac{C_{shn}}{C_{sh1}} (\alpha n^2 \theta_{sh}^2 + 1) \right\} I_1 \quad (22)$$

그리고 제 n 次 高調波에 對한 二次回路에 있어서 機械動力으로 變化하는 正相分電力은

$$I_{2Pn}^2 \frac{r_{2n}}{x_{m1}} \cdot \frac{1}{nS-n+1} - I_{2Pn}^2 \frac{r_{2n}}{x_{m1}} \\ = I_{2Pn}^2 \frac{r_{2n}}{x_{m1}} \cdot \frac{n(1-s)}{nS-n+1} \quad (23)$$

이므로 回轉子의 同期角速度를 ω_0 라 하면 이것을 $[N \cdot m]$ 로 表한 토오크는

$$I_{2Pn}^2 \frac{r_{2n}}{x_{m1}} \cdot \frac{n(1-s)}{nS-n+1} / \omega_0(1-s) \\ = n I_{2Pn}^2 \frac{r_{2n}}{x_{m1}(nS-n+1)} \cdot \frac{1}{\omega_0} \quad (24)$$

로 된다. 따라서 同期 watt로 表한 電動機의 토오크 T는

$$T = I_{2P1}^2 \left(\frac{r_{2b1}}{x_{m1}S} + \frac{r_{2e1}}{x_{m1}S} \right) - I_{2N1}^2 \left\{ \frac{r_{2b1}}{x_{m1}(2-s)} \right. \\ + \left. \frac{r_{2e1}}{x_{m1}(2-s)} \right\} + \sum n \left(\frac{K_{wn}}{K_{w1}} \right)^2 \left\{ I_{2Pn}^2 \left(n^2 \frac{r_{2b1}}{x_{m1}nS-n+1} \right. \right. \\ + \left. \left. \frac{r_{2e1}}{x_{m1}nS-n+1} \right) - I_{2Pn}^2 \left(n^2 \frac{r_{2b1}}{x_{m1}1+n-nS} \right. \right. \\ + \left. \left. \frac{r_{2e1}}{x_{m1}1+n-nS} \right) \right\} \quad (25)$$

$$= I_1^2 \{ Z_{P1R} - Z_{N1R} + \sum n (Z_{PnR} - Z_{NnR}) \} \quad (26)$$

로 되어 실제의 電動機의 토오크 T는

$$T' = \frac{1}{x_{m1}} T \quad (27)$$

로 된다.

이들 結果 電動機의 실제의 出力 W_0 , 軸出力 W_0' , 効率 η , 力率 pf는 各各 다음과 같이 된다.

$$W_0 = T'(1-s) \quad (28)$$

$$W_0' = W_0 - (\text{鐵損} + \text{機械損}) \quad (29)$$

$$\eta = \frac{W_0'}{W_0} \times 100 \quad (30)$$

$$pf = \frac{W}{V_1 \cdot I} \times 100 \quad (31)$$

空間의 基本波磁束만 생각한때는 各 特性式이 r_1/x_{m1} , x_1/x_{m1} , r_{2b1}/x_{m1} , r_{2e1}/x_{m1} , x_{221}/x_{m1} , θ_{sh} 의 函數로 되고 高調波磁束을 考慮하면 各 特性式은 이들外 n, $\frac{K_{wn}}{K_{w1}}$, $\frac{C_{shn}}{C_{sh1}}$ 의 函數로 된다. 이들은 어떤 좁은 範圍에 들어가는 限定된 값이 되리라고 생각되며 電動機의 特性은 그 限定된 값에 따라 決定될 것이다. 그리고 r_{21}/x_{m1} 을 r_{2b1}/x_{m1} 과 r_{2e1}/x_{m1} 로 x_{21}/x_{m1} 을 x_{221}/x_{m1} 과 x_{sh1}/x_{m1} 로 分離함으로써 細分된 定數比로서 電動

機의 特性을 檢討할 수 있으며 特히 斜溝角 및 端絡環의 抵抗의 勵磁리액턴스에 對한 比가 變化했을때의 特性變化도 檢討할 수 있다.

4. 計算例

解析結果를 檢討하기 위하여 表 1과 같은 仕様과 主卷線의 定數比를 가진 condenser始動單相誘導電動機에 對하여 計算 하였다. 供試電動機의 K_{w6}/K_{w1} , K_{w7}/K_{w1} 은 大端히 적으므로 第 3次高調波까지 考慮하여 表 1의 數值를 使用하고 電子計算機에 의하여 슬립을 1% 間隔으로 變化시켜 各速度에 對한 토오크를 算出하였다.

그結果는 그림 3과 같으며 토오크는 定格負荷의 토오크를 100%로 하고 이를 基準으로하여 圖示하였다.

表 1. 供試電動機의 仕様과 回路定數比
Table 1. Specifications & circuit constant ratios of tested motor.

仕 樣	回路定數 및 定數比		
電 壓 100V	x_{m1}	22.085Ω, θ_{sh}	0.3883
周波數 60c/s	r_1/x_{m1}	0.05972Ω, C_{sh3}/C_{sh1}	0.95165
極 數 4	x_1/x_{m1}	0.05340Ω, K_{w6}/K_{w1}	-0.03239
出 力 400W	r_{2b1}/x_{m1}	0.02395Ω, K_{w5}/K_{w1}	-0.00187
回轉數 1710 R.P.M	r_{2e1}/x_{m1}	0.01038Ω, K_{w7}/K_{w1}	-0.00314
	x_{221}/x_{m1}	0.02288Ω	

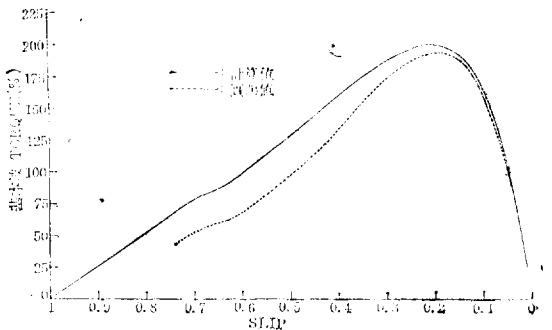


그림 3. 供試電動機의 토오크-速度特性
Fig. 3. Speed-torque characteristic curves of the tested motor.

無負荷狀態에서 始動卷線을 使用하여 始動後에 定常狀態로 되었을때 電源을 끊고 主卷線만으로써 始動할 수 있는 最低速度로 低下되었을때 主卷線만으로써 始動시켜 測定하였는데 測定이 끝날때까지 溫度上昇이 있겠지만 그영향은 考慮하지않고 計算하였다.

實驗에 있어서 電動機가 無負荷로 回轉할때의 토오르크는

(回轉子 및 付屬裝置의 慣性 Moment) × (回轉子의 角加速度) [Nm]

에 의하여 求하였으며 角加速度는 時間一回轉角速度曲線부터 求하였고 角速度는 光電裝置에 의하여 測定하였다.

黑色 tape를 等間隔으로 取付한 얇은 金屬圓盤을 電動機軸에 固定시키고 photoelectric pickoff을 使用하여 電動機 回轉數當 圓盤의 tape數만큼의 pulse를 發生시키고 이 pulse를 photocorder에 記錄한 後 pulse 間隔으로부터 平均角速度를 求하고 이것을 그區間의 中點에 該當하는 時間에 對한 角速度로 하였다.

實驗에 있어서 pulse發生裝置가 正確하게 動作하고 있는가를 確認하여야 하며 回轉數當 pulse數는 時間一回轉角速度曲線의 算出方法에 따라 誤差가 적게 되도록 決定하여야 하는데 本實驗에서는 4個를 使用하였다. 그리고 慣性 moment는 回轉振動에 의한 測定法에 따라 測定하였으며 供試機의 慣性 moment는 23.02[cm² kg]이었다.

計算值토오르크는 鐵損 및 機械損을 包含하고 있고 實際의 測定에 있어서는 始動過程에서 卷線이 發熱하여 溫度가 上昇하는데 이들 條件을 考慮하면 計算值 토오르크는 實測值토오르크에 接近한다고 생각하여도 된다.

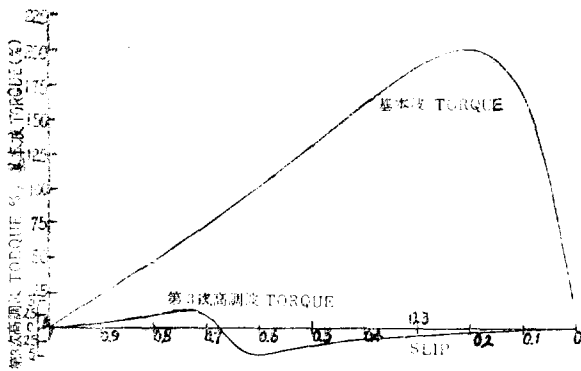


그림 4. 高調波 토오르크
Fig. 4. Harmonics torques.

그림 4는 計算值 토오르크를 各空間高調波別로 分解한 것이다. 그림 3에 있어서 슬립 0.66(4極機) 附近에서 曲線의 變化가 緩漫하는 部分이 있는데 이原因은 그림 4와 比較하여 볼때 第3次高調波 토오르크 때문임을 알 수 있다.

그림 3, 4에서 보는바와 같이 計算值와 實測值가 比較의 一致하여 本解析法이 妥當함을 알 수 있으므로 이 解析法에 따라 選定된 電動機의 各定數比 및 斜溝角中

任意 1個를 變化시켜 토오르크-速度 特性이 어떻게 變化하는가를 檢討하여 空間高調波磁束을 考慮할때 各定數比 等이 토오르크-速度 特性에 미치는 影響을 明白히 하고자 한다.

5. 電動機의 定數比와 토오르크特性과의 關係

特性式에서 보는바와 같이 特性은 電動機의 各 回路定數比間의 關係로서 決定된다. 따라서 各 設計例 等を 參照하여 選定한 表 2와 같은 仕様과 回路定數比를 가진 電動機에 對하여

表 2. 標準電動機의 仕様과 回路定數比
Table 2. Specifications & circuit constant ratios of standard motor.

仕 様	回 路 定 數		
電 壓 100V	x_m	25Ω,	θ_{2k} 0.26
周波數 60c/s	r_1/x_{m1}	0.08Ω,	C_{203}/C_{201} 0.97761
極 數 4	x_1/x_{m1}	0.08Ω,	C_{205}/C_{201} 0.93374
出 力 200W	r_{201}/x_{m1}	0.022Ω,	K_{w23}/K_{w1} 0.125
速 度 1740 R.P.M	r_{201}/x_{m1}	0.018Ω,	K_{w23}/K_{w1} 0.0125
	x_{221}/x_{m1}	0.03733Ω,	

第五高調波磁束까지 考慮하고 그 回路定數比中 任意의 1個를 變化 시켰을때 基本波 및 第3, 5次 高調波에 對한 토오르크-速度 特性이 어떻게 變化하는 가를 考察하였다. 그리고 토오르크는 定格負荷때의 토오르크를 100%로 하고 이것을 基準으로 하여 圖示하였다.

變化시키는 定數比 以外の 定數比를 一定하게 한다는 것은 그 定數比 만이가지는 構造上의 固有因子를 同時에 變化시켜 一定하게 한다는 것을 뜻한다. x_{m1} 이 固定子의 길이 및 內徑, 空隙의 길이, 齒節, 齒幅, slot의 幅, slot의 數, 各 크기의 slot span, 直列導體數, 卷線係數, 極數, 回轉子의 齒節 및 齒幅, slot의 幅, 斜溝角, 그리고 極數 等에 關係되는 것이므로 이들의 適切한 變化에 따라 各 定數比가 變化하여 特性이 變化될 것이며 r_1/x_{m1} 의 變化에는 固定子 slot의 길이, 卷線의 斷面積 및 固有抵抗, x_1/x_{m1} 의 變化에는 固定子 slot의 모양, x_1/x_{m1} 의 變化에는 回轉子 slot의 모양, r_{201}/x_{m1} 의 變化에는 回轉子 導體棒의 斷面積 및 固有抵抗, r_{201}/x_{m1} 의 變化에는 端線環의 斷面積, 內徑, 外徑 및 固有抵抗이 重要한 役割을 할 것이다.

(1) 基本波에 對한 토오르크 特性의 檢討

各定數比를 一個式 어떤 範圍로 變化시켰을때 基本波에 對한 토오르크-速度 曲線을 求하니 그림 5~10과 같이 되었다. 이 그림에 의하여 檢討한 結果를 要約하

던 다음과 같다.

a) 高調波 토오크가 큰 標準電動機의 基本波 토오크에 大略슬립 0.68附近에서 歪曲狀態가 나타나고 있다. 그러나 그림 4에서 보는바와 같이 高調波 토오크가 적은 供試機의 基本波 토오크에는 나타나지 않고 또 基本波 磁束만 考慮했을때의 計算值토오크에도 나타나지 않았다. 따라서 高調波磁束의 影響이 클때 토오크-速度 曲線에 歪曲部分이 나타남을 알수있다.

b) r_1/x_{m1} , x_1/x_{m1} , x_{221}/x_{m1} 을 增加시키면 토오크의 最大值, 슬립그리고 歪曲狀態가 減少하며 토오크의 最大值의 減少는 r_1/x_{m1} 의 增加때가 가장심하다.

c) r_{2s1}/x_{m1} , r_{2s1}/x_{m1} 을 增加시키면 토오크의 最大值는 減少하고 슬립및 歪曲狀態는 增加하며 토오크의 最大值의 減少는 r_1/x_{m1} , x_1/x_{m1} , x_{221}/x_{m1} 을 變化시켰을 때 보다는 덜심하다. 그리고 r_{2s1}/x_{m1} 을 變化시켰을 때 r_{2s1}/x_{m1} 을 變化시켰을 때 보다는 多小심하다. 이들 定數比의 變化에 對한 特性變化는 심하며 大略슬립 0.37 ~ 1.0 範圍에서는 이들 定數比의 增加에 따라 토오크는 增加한다.

d) 斜溝角의 增加에 따라 토오크이 最大值, 슬립및 歪曲狀態가 減少되며 토오크의 最大值, 슬립의 減少程度는 그리 심하지않다.

文獻 1)에 基本波磁束만 考慮 했을때 r_1 , x_1 , x_2 의 變化에 따른 토오크-速度 曲線의 變化에 關하여 本文과 類似한 結果를 얻고 있는데 이것은 本 解析法이 妥當함을 뒷받침하고 있다.

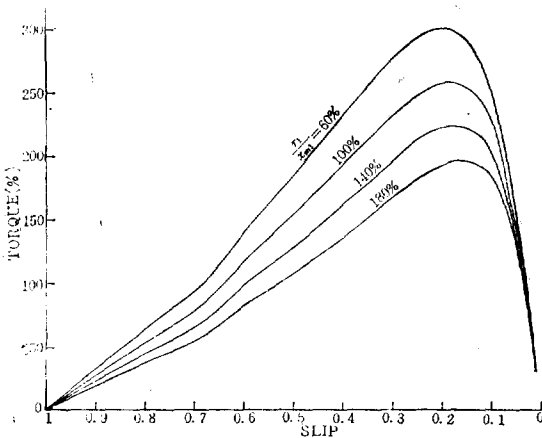


그림 5. r_1/x_{m1} 을 變化 시켰을때의 基本波에 對한 토오크-速度 特性曲線
 Fig. 5. Speed-torque characteristic curves by the fundamentals for parameter r_1/x_{m1}

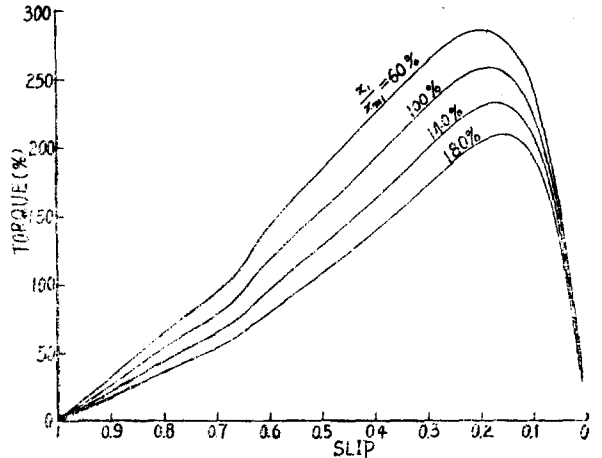


그림 6. x_1/x_{m1} 을 變化시켰을때의 基本波에 對한 토오크-速度 特性曲線
 Fig. 6. Speed-torque characteristic curves by the fundamentals for parameter x_1/x_{m1}

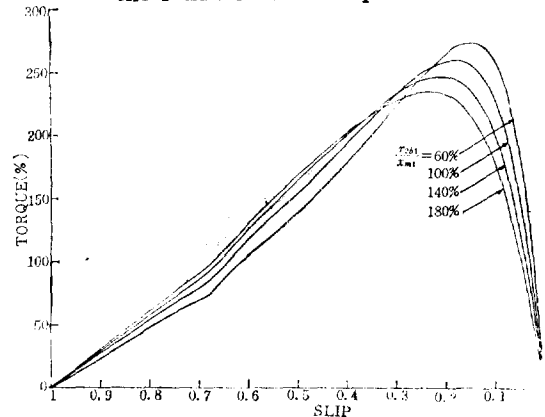


그림 7. r_{2s1}/x_{m1} 을 變化시켰을때의 基本波에 對한 토오크-速度 特性曲線
 Fig. 7. Speed-torque characteristic curves by the fundamentals for parameter r_{2s1}/x_{m1}

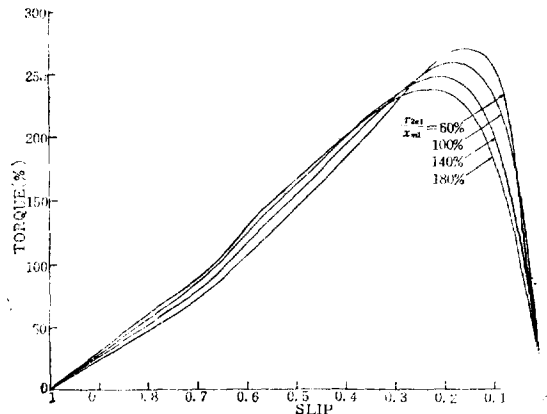


그림 8. r_{2s1}/x_{m1} 을 變化시켰을때의 基本波에 對한 토오크-速度 特性曲線
 Fig. 8. Speed-torque characteristic curves by the fundamentals for parameter r_{2s1}/x_{m1}

(C) 斜溝角의 增加에 따라 토오크의 最大値가 減少
하되 그 程度는 그리 심하지 않다.

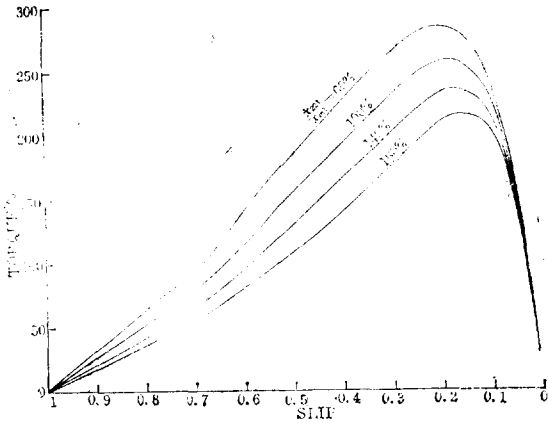


그림 9. x_{221}/x_{m1} 을 變化시켰을때의 基本波에 對한 토오크—速度 特性曲線

Fig. 9. Speed-torque characteristic curves by the fundamentals for parameter x_{221}/x_{m1}

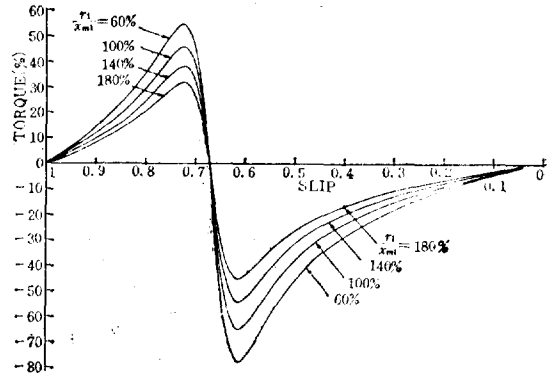


그림 11. r_1/x_{m1} 을 變化시켰을때의 第3次 高調波에 對한 토오크—速度 特性曲線

Fig. 11. Speed-torque characteristic curves by the 3th harmonics for parameter r_1/x_{m1}

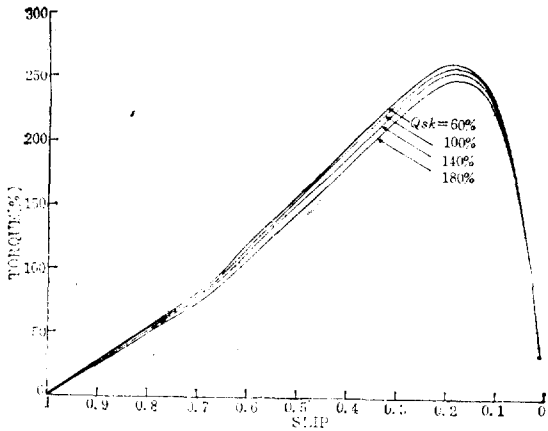


그림 10. θ_s 를 變化시켰을때의 基本波에 對한 토오크—速度 特性曲線

Fig. 10. Speed-torque characteristic curves by the fundamentals for parameter θ_s .

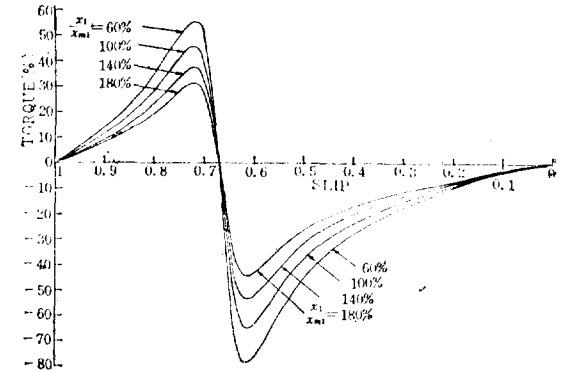


그림 12. x_1/x_{m1} 을 變化시켰을때의 第3次 高調波에 對한 토오크—速度 特性曲線

Fig. 12. Speed-torque characteristic curves by the 3th harmonics for parameter x_1/x_{m1}

(2) 第3次 高調波에 對한 토오크特性的 檢討

이때의 토오크—速度 曲線은 그림 11~16과 같고 基本波에 對한 特性曲線에서 나타나는 歪曲狀態는 없으며 檢討結果를 要約하면 다음과 같다.

a) r_1/x_{m1} , x_1/x_{m1} , x_{221}/x_{m1} 을 增加시키면 토오크의 最大値는 減少하며 x_{221}/x_{m1} 의 變化때가 가장 심하다.

b) x_{221}/x_{m1} , r_{221}/x_{m1} 을 變化시키면 토오크의 最大値는 減少한다. 그리고 r_{221}/x_{m1} 의 變化에 對한 特性變化는 심하며 이 定數比의 增加에 따라 토오크가 增加하는 範圍도 나타난다.

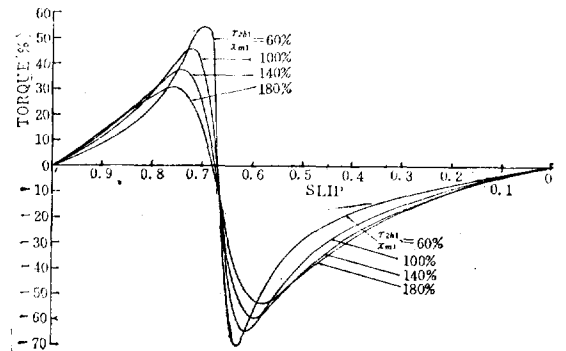


그림 13. r_{221}/x_{m1} 을 變化시켰을때의 第3次 高調波에 對한 토오크—速度 特性曲線

Fig. 13. Speed-torque characteristic curves by the 3th harmonics for parameter r_{221}/x_{m1}

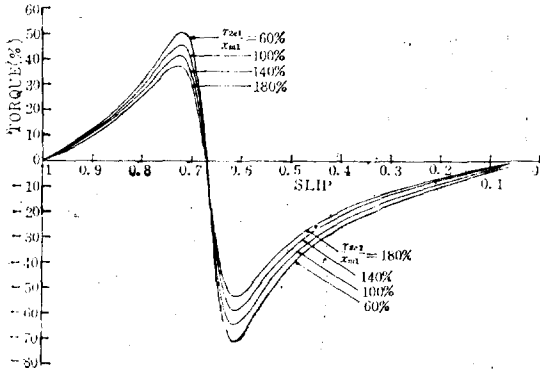


그림 14. r_{2s1}/x_{m1} 을 변화시켰을때의 第3次 高調波에 對한 토오크—速度 特性曲線

Fig. 14. Speed-torque characteristic curves by the 3th harmonics for parameter r_{2s1}/x_{m1}

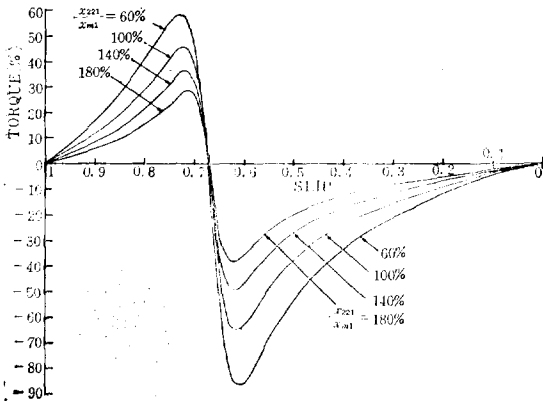


그림 15. x_{221}/x_{m1} 를 변화시켰을때의 第3次 高調波에 對한 토오크—速度 特性曲線

Fig. 15. Speed-torque characteristic curves by the 3th harmonics for parameter x_{221}/x_{m1}

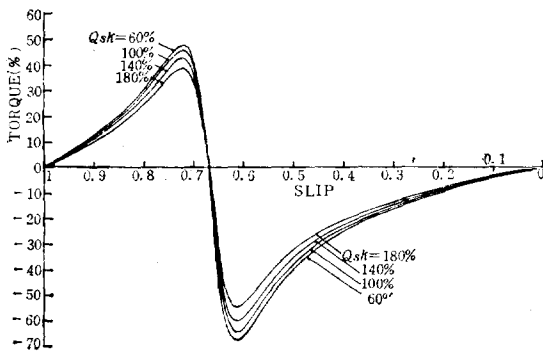


그림 16. θ_{s1} 을 변화시켰을때의 第3次 高調波에 對한 토오크—速度 特性曲線

Fig. 16. Speed-torque characteristic curves by the 3th harmonics for parameter θ_{s1}

式 (12)~(16), (26)에서 보는 바와 같이 K_{ws}/K_{w1} 혹은 C_{sk}/C_{sk1} 이 작아지면 第3次 高調波磁束에 對한 토오크는 消滅되는데 萬一 이 토오크의 影響이 크면 大略 슬립 0.66을 中心으로 하여 合成토오크特性曲線에 凹凸部分이 생길것이다. 그리고 이것은 斜溝角, 巻線 係數比 뿐만 아니라 r_1/x_{m1} , x_1/x_{m1} , r_{s1}/x_{m1} , r_{2s1}/x_{m1} , x_{221}/x_{m1} 의 影響도 받게 된다.

(3) 第5次 高調波에 對한 토오크特性的 檢討

그림 17~22에서 보는바와 같이 第3次 高調波에 對하여 檢討한 것과 同一한 結果를 얻는다.

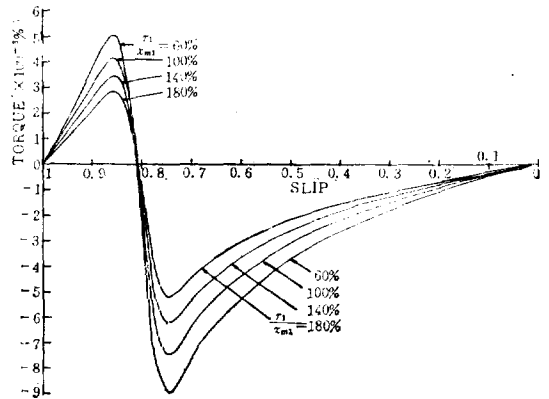


그림 17. r_1/x_{m1} 을 변화시켰을때의 第5次 高調波에 對한 토오크—速度 特性曲線

Fig. 17. Speed-torque characteristic curves by the 5th harmonics for parameter r_1/x_{m1}

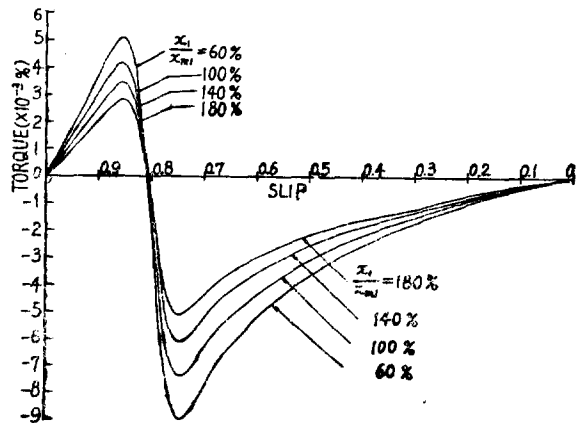


그림 18. x_1/x_{m1} 을 변화시켰을때의 第5次 高調波에 對한 토오크—速度 特性曲線

Fig. 18. Speed-torque characteristic curves by the 5th harmonics for parameter x_1/x_{m1}

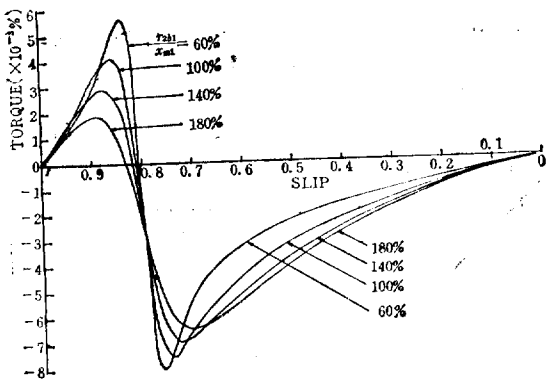


그림 19. r_{2s1}/x_{m1} 을 변화시켰을때의 第5次 高調波에 對한 토크—速度 特性曲線
 Fig. 19. Speed-torque characteristic curves by the 5th harmonics for parameter r_{2s1}/x_{m1}

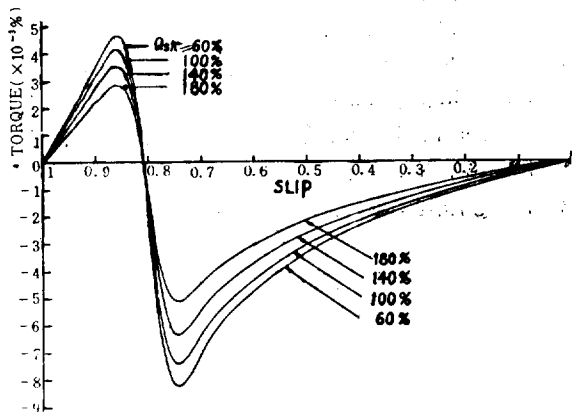


그림 22. θ_s 를 변화시켰을때의 第5次 高調波에 對한 토크—速度 特性曲線
 Fig. 22. Speed-torque characteristic curves by the 5th harmonics for parameter θ_s

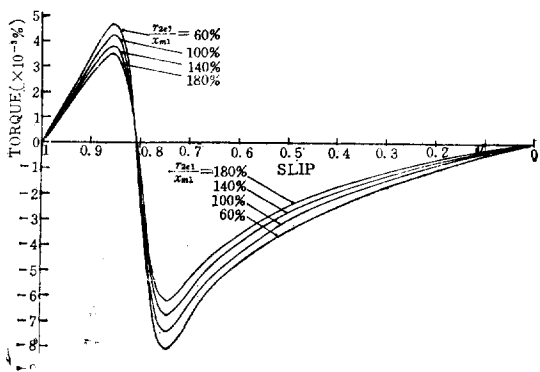


그림 20. r_{2s1}/x_{m1} 을 변화시켰을때의 第5次 高調波에 對한 토크—速度 特性曲線
 Fig. 20. Speed-torque characteristic curves by the 5th harmonics for parameter r_{2s1}/x_{m1}

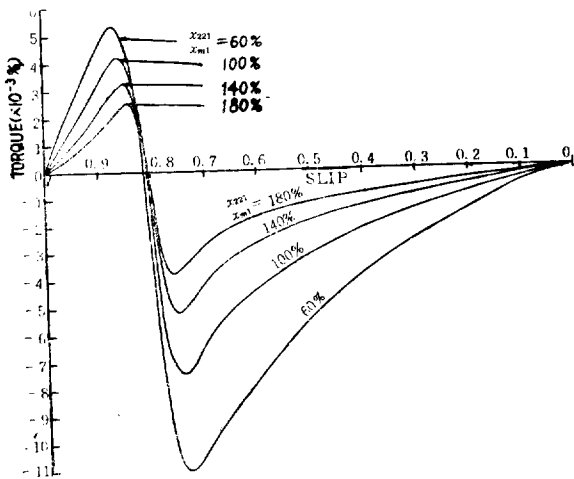


그림 21. x_{221}/x_{m1} 을 변화시켰을때의 第5次 高調波에 對한 토크—速度 特性曲線
 Fig. 21. Speed-torque characteristic curves by the 5th harmonics for parameter x_{221}/x_{m1}

6. 結 論

2 電動機說에 따라 空間高調波 磁束을 考慮한 純單相誘導電動機의 一般化한 等價回路를 作成하고 特性計算式을 求하여 各種回路定數比 및 斜溝角의 變化가 基本波 및 高調波에 對한 토크—速度 特性에 미치는 影響을 比較의 明白히 하였다. 各種 定數比가 토크—速度 特性에 미치는 影響은 크고 高調波 磁束에 對한 토크의 影響이 크면 合成토크 特性曲線에 凹凸部分이 生길 것이며 이것은 斜溝角, 卷線係數比 뿐 아니라 各 定數比의 影響도 받게 된다.

따라서 이들은 單相誘導電動機의 起動卷線의 設計에 있어서 特別히 考慮되어야 한다. 供試機의 定數比는 文獻5)의 該當公式를 主로 適用하여 決定 하였는데 定數比 決定에 있어서 誤差가 包含된다는것, 磁氣飽和, 各 슬립에 對한 回路定數의 變化²⁾等에는 言及하지 않았다는 問題點도 있겠지만 空間高調波磁束을 考慮 했을 때의 速度에 對한 토크 特性 뿐만 아니라 入力, 電流, 力率, 出力, 效率特性도 解析할수 있게되어 設計 혹은 特性改善에 有益한 資料가될 것이다.

끝으로 本 研究은 1972年度 文教部 研究助成費의 도움으로 이루어진 것임을 밝혀둔다.

參 考 文 獻

- 1) J. Kibe, S. Mito, & K. Kamimura, " Torque Characteristics of Single Phase Induction Motor" IEEJ Vol. 82. No. 2, p.24~33, 1962.
- 2) T. Yokozuka, "Analysis of the Capacitor-

- Start Induction-run Motors" IEEJ, Vol. 91, No. 11, p.113~1222, 1971.
- 3) L.W. Buchanan, "An Equivalent Circuit for a Single-Phase Motor Having Space Harmonics in its Magnetic Field" IEEE Vol. PAS-84, No.11, p.999~1007, 1965.
 - 4) 日本電氣學會, 誘導機, p.191, 1955~10.
 - 5) 李承院譯, 電氣機械設計, p.246. 1962~4, 文運堂.
 - 6) W. Wütherich, "Messung der Hochlaufvorgänge bei Kleinmotoren", ETZ-A Bd. 86, H.22, S. 709~714, 1965.
 - 7) A. Ozawa, "Analysis of Single-Phase Induction Motor by Use of Cross-Field Theory" IEEJ Vol.90, No.6, p.147~156, 1970.